

ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЙ РОСТА ПЛЕНОК ГЕРМАНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ РЕАКТОРЕ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

О. Ю. Наливайко, А. С. Турцевич, Г. В. Лепешкевич, Д. В. Жигулин

ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Беларусь

E-mail: onalivaiko@integral.by

Германиевые фотоприемники обладают высокой чувствительностью в важном диапазоне телекоммуникационных длин волн 1,3 – 1,55 мкм, а слои Ge перспективны в качестве фоточувствительных слоев фотоприемников ближнего ИК диапазона и могут быть интегрированы в кремниевую технологию [1]. Известно также, что недорогие Ge фотоприемники, могут разрабатываться на основе поликристаллических слоев Ge [2]. Однако процесс осаждения поликристаллических слоев Ge в реакторе пониженного давления изучен недостаточно полно.

Осаждение слоев Ge осуществляли в промышленном горизонтальном реакторе пониженного давления с горячими стенками «Лада-34». Для осаждения слоев Ge, использовали газовую смесь моногермана с водородом GeH_4 – 40 % / H_2 – 60 %. Температура осаждения варьировалась от 500 °С до 400 °С, давление – от 22,6 до 40 Па. В качестве подложек использовали пластины кремния диаметром 100 мм с ориентацией (100) и удельным сопротивлением 12 Ом·см, легированные бором. Осаждение германия проводилось как на подложку монокристаллического кремния, так и на подложку с подслоем аморфного кремния, осажденным в едином процессе с осаждением Ge при одинаковой температуре без прерывания процесса осаждения. Исследование поверхности осаждаемых пленок проводились при помощи растровой электронной микроскопии на установке Hitachi S4800.

Установлено, что на подложке монокристаллического кремния в исследованном диапазоне температур и давлений не происходит формирование однородного массива зародышей (островков) Ge. Наблюдается низкая плотность зародышей Ge $\sim 10^9 \text{ см}^{-2}$, которая незначительно возрастает с увеличением длительности осаждения, при этом даже после осаждения в течение 560 с не образуется сплошная пленка, несмотря на то, что размеры зерен достигают 145 нм. Предполагается, что процесс формирования зародышей Ge на монокремнии нестабилен из-за наличия естественного окисла кремния.

Установлено, что стабильное и однородное зародышеобразование островков германия происходит при осаждении германия на подслой аморфного кремния толщиной около 5 нм и более.

При температуре 500 °С, давление 40 Па плотность зародышей после осаждения в течение 40 с составляет примерно $2 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ при их размере от 3,7 до 13 нм. С увеличением длительности осаждения до 98 с плотность зародышей уменьшается до $1,06 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$ (рис. 1), а их размеры увеличиваются до 140÷400 нм (рис. 2). Коалесценция островков Ge начинается уже через 40 с осаждения. Образование сплошной пленки происходит при толщине слоя 8÷10 нм, при этом плотность зерен составляет $(5\div 8) \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ при размере от 10 до 60 нм, что выше, чем размер зерен ПКК, имеющих аналогичную толщину (20÷22 нм) [3]. Слои толщиной ~65 нм имеют шероховатость ~40 нм. Осаждение слоев Ge при давлении 22.6 Па позволяет снизить шероховатость слоя в 1,6 раза.

При температуре 450 и 400 °С плотность зародышей после осаждения в течение 40 с в 2÷3 раза ниже, чем при 500 °С. После осаждения в течение 300 с плотность зародышей и их размеры незначительно изменяются с увеличением длительности осаждения, что свидетельствует о преимущественном вертикальном росте зерен.

Таким образом, установлены условия процесса осаждения Ge, которые позволяют варьировать размер зерна и шероховатость пленок Ge. Введение германия в процесс осаждения при пониженном давлении приводит к увеличению скорости кристаллизации, что способствует формированию поликристаллических пленок Ge при более низких температурах по сравнению с пленками ПКК и ПКЛФ.

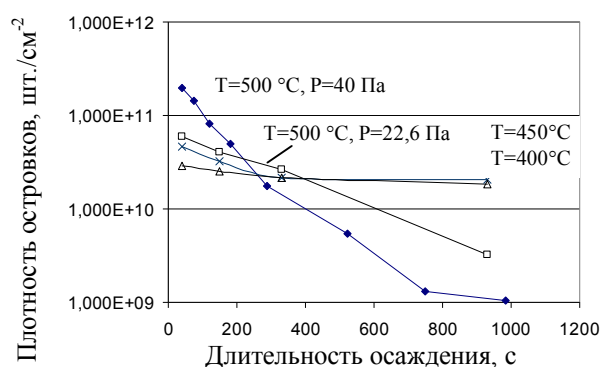


Рис. 1. Зависимость плотности островков Ge от длительности осаждения

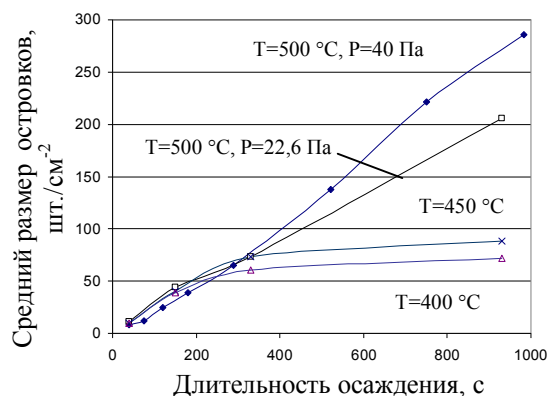


Рис. 2. Зависимость размера островков Ge от длительности осаждения

1. Samavedam S., Currie M., Langdo T., Fitzgerald E. // Appl. Phys. Lett. 1998. V. 73. P. 2125–2127.
2. Colace L., Ferrara P., Assanto G. et al. // IEEE Photon. Technol. Lett. 2007. V. 19. № 22. P. 1813–1815.
3. Наливайко О. Ю., Турцевич А. С., Цыркунова Н. Г. // Материалы V Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств», 29-30 мая 2008 г. Новополюк. Том 2. С. 155–158.